



中华人民共和国国家标准

GB/T 35465.5—2020

聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第 5 部分：弯曲疲劳

Test method for fatigue properties of polymer matrix composite materials—
Part 5: Flexural fatigue

2020-11-19 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

GB/T 35465《聚合物基复合材料疲劳性能测试方法》分为 6 个部分：

- 第 1 部分：通则；
- 第 2 部分：线性或线性化应力寿命($S-N$)和应变寿命($\epsilon-N$)疲劳数据的统计分析；
- 第 3 部分：拉-拉疲劳；
- 第 4 部分：拉-压和压-压疲劳；
- 第 5 部分：弯曲疲劳；
- 第 6 部分：胶粘剂拉伸剪切疲劳。

本部分为 GB/T 35465 的第 5 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由中国建筑材料联合会提出。



本部分由全国纤维增强塑料标准化技术委员会(SAC/TC 39)归口。

本部分起草单位：北京玻璃钢研究设计院有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、中材科技风电叶片股份有限公司、泰山玻璃纤维有限公司、上纬新材料科技股份有限公司、巨石集团有限公司、浙江恒石纤维基业有限公司、重庆国际复合材料股份有限公司、上海玻璃钢研究院有限公司、上海康达化工新材料集团股份有限公司、武汉理工大学、山东非金属材料研究所。

本部分主要起草人：王贞、周信伟、王冬生、高克强、王艳丽、刘洪刚、刘利锋、崔峰波、胡红梅、孟祥艳、季永晶。

聚合物基复合材料疲劳性能测试方法

第 5 部分：弯曲疲劳

1 范围

GB/T 35465 的本部分规定了聚合物基复合材料弯曲疲劳性能测试方法的术语和定义、原理、试验设备、试样、状态调节和试验环境、试验步骤、试验结果及数据处理和试验报告。

本部分适用于聚合物基复合材料在恒定振幅和恒定频率循环加载条件下的弯曲疲劳性能试验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 35465.1 聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第 1 部分:通则

GB/T 35465.2 聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第 2 部分:线性或线性化应力寿命($S-N$)和应变寿命($\epsilon-N$)疲劳数据的统计分析

ISO 14125 纤维增强塑料复合材料 弯曲性能的测定(Fibre-reinforced plastic composites—Determination of flexural properties)

3 术语和定义

ISO 14125 和 GB/T 35465.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

弯曲疲劳 flexural fatigue

在交变弯曲应力或应变作用下的疲劳。

4 原理

在不同的弯曲应力或应变水平下,以恒定的应力或应变振幅、应力比或应变比和频率对试样施加交变应力或应变,持续至试样失效,对试验结果进行分析处理,绘制应力寿命($S-N$)或应变寿命($\epsilon-N$)曲线。

5 试验设备

5.1 试验机

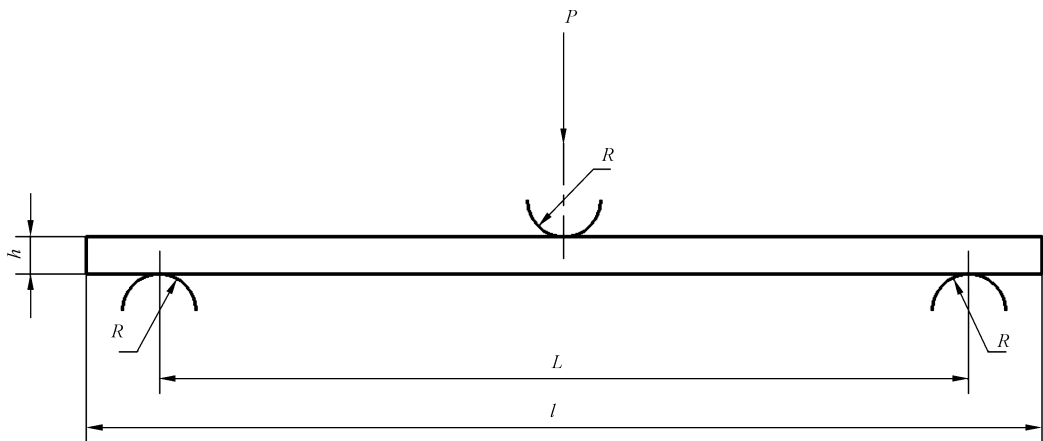
5.1.1 试验设备应符合 GB/T 35465.1 的规定。

5.1.2 尺寸测量工具应精确至 0.01 mm。

5.2 弯曲试验装置

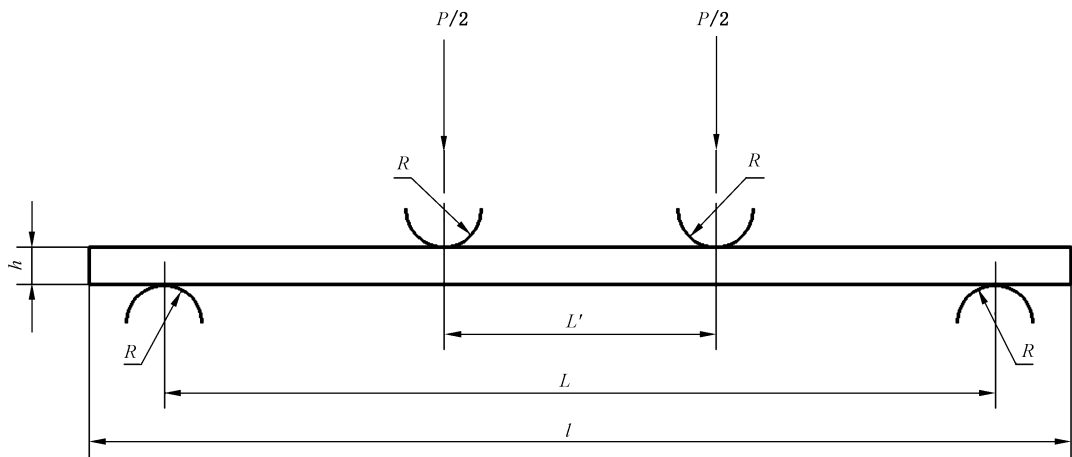
加载方法分为三点弯曲法和四点弯曲法。三点弯曲法加载示意图见图 1,四点弯曲法加载示意图

见图 2,推荐压头和支座的硬度为 HRC(40~45), R 为 $5\text{ mm}\pm0.2\text{ mm}$ 。



说明：
 L —— 试验跨距；
 R —— 加载头和支座半径；
 h —— 试样厚度；
 l —— 试样长度。

图 1 三点弯曲法加载示意图



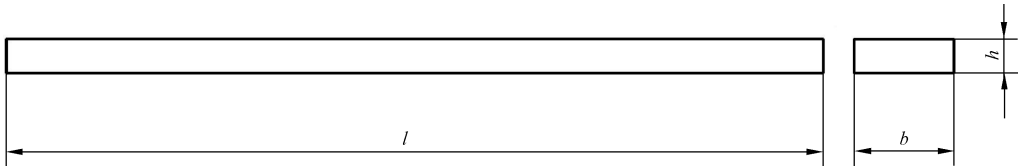
说明：
 L —— 试验跨距；
 L' —— 压头跨距, $L' = 1/3L$ ；
 R —— 加载头和支座半径；
 h —— 试样厚度；
 l —— 试样长度。

图 2 四点弯曲法加载示意图

6 试样

6.1 试样形状和尺寸

试样的形状见图 3。试样宽度和长度要求见表 1。



说明：
 l —— 试样长度；
 b —— 试样宽度；
 h —— 试样厚度。

图 3 弯曲疲劳试样形状

表 1 试样的宽度和长度要求 单位为毫米

厚度 h	宽度 b	最小长度 l_{\min}
$1 < h \leq 10$	15 ± 0.5	$L + 20$
$10 < h \leq 20$	30 ± 0.5	
$20 < h \leq 35$	50 ± 0.5	
$35 < h \leq 50$	80 ± 0.5	

6.2 试样制备和试样数量

- 6.2.1 试样使用机械加工法制备,制备要求应符合 GB/T 35465.1 的规定。
- 6.2.2 试样数量应符合 GB/T 35465.1 的规定,推荐静态试验为 5 根有效试样,疲劳试验至少 12 根有效试样。

7 状态调节和试验环境

试样的状态调节和试验应在标准试验室环境条件下进行,标准环境条件为温度 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $50\% \pm 10\%$,状态调节时间至少为 24 h。

8 试验步骤

- 8.1 对试样进行外观检查,有缺陷、不符合尺寸或制备要求的试样,应予作废。
- 8.2 将合格试样编号、划线,测量试样中间的 1/3 跨距任意三点的宽度和厚度,取算术平均值。
- 8.3 试样的静态弯曲强度、弯曲弹性模量、失效应变按 ISO 14125 进行测定。
- 8.4 按试验要求选择波形和试验频率。试验波形一般为正弦波,试验频率推荐 1 Hz~25 Hz。
- 8.5 按试验目的确定应力比或应变比。推荐应力或应变比为 10。

8.6 测定 S-N 曲线或 ϵ -N 曲线时,按试验目的,至少选取 4 个应力或应变水平,每个应力或应变水平至少 3 个有效试样。一般按疲劳试验的最大应力或应变表征水平。选取应力或应变水平的方案如下:

- a) 第一个水平以 10^4 循环次数为目标;
- b) 第二个水平以 10^5 循环次数为目标;
- c) 第三个水平以 5×10^5 循环次数为目标;
- d) 第四个水平以 2×10^6 循环次数为目标。

通常从第一个水平开始疲劳试验,如:玻璃纤维增强塑料为静态弯曲强度或其对应弯曲应变的 80%,碳纤维增强塑料为静态弯曲强度或其对应弯曲应变的 85%。若循环次数与预期差异较大,则逐量升高或降低应力或应变水平。

8.7 无特殊试验目的,各疲劳水平应使用相同频率和应力或应变比。

8.8 调节跨距及上压头的位置,精确至 0.5 mm。对于三点弯曲法,加载上压头位于支座中间,且上压头与支座的圆柱面轴线相平行;对于四点弯曲法,压头跨距应为试验跨距的 1/3,并对称地安置在支座之间。试验跨距按跨厚比换算而得,跨厚比取值见表 2。

表 2 试样跨厚比取值

材料	三点弯曲法	四点弯曲法
短切纤维及纤维织物增强塑料	16	16.5
90°单向纤维增强塑料及 $5 < (E_{\text{fl}}/G_{13}) < 15$ 的 0°单向纤维增强塑料	20	22.5
$15 < (E_{\text{fl}}/G_{13}) < 50$ 的 0°单向纤维增强塑料	40	40.5
注 1: E_{fl} 为平行于纤维方向的弯曲弹性模量, G_{13} 为厚度方向层间剪切模量。		
注 2: 如出现层间剪切破坏时,可增加跨厚比。		

8.9 标记试样受拉面,将试样对称地放在两支座上。必要时,在试样上表面与加载压头间放置柔性衬垫物,防止试样受压失效。

8.10 若进行应变控制,在跨距中点处安装应变仪或其他应变测量装置,与试样下表面接触,并在无载荷时对应变清零。

8.11 进行疲劳试验直至试样失效。在试验过程中,监测试样表面温度,若试样温度变化超过 10 °C,启用散热装置。若散热装置不能降低试样的温度,需重新选择试验频率。

注: 失效条件包括试样破坏、试样的刚度衰减到协定的要求值、肉眼可见的损伤等。

8.12 试验过程中随时检查设备状态,观察试样的变化,每水平至少记录一根试样的温度。

8.13 试样失效后,应保护好试样断口。检查试样的失效模式,有明显内部缺陷导致的破坏的应予作废,去除所有不可接受的试样并补充实验。典型的失效模式参见附录 A。

9 试验结果及数据处理

9.1 给出所有试样的疲劳寿命。

9.2 按 GB/T 35465.2 的规定进行数据处理,并绘制应力寿命(S-N)或应变寿命(ϵ -N)曲线。

10 试验报告

试验报告应符合 GB/T 35465.1 的规定。

附录 A
(资料性附录)
典型失效模式

试样的典型失效模式见表 A.1。

表 A.1 试样的典型失效模式

	代码	描述	三点弯曲法加载	四点弯曲法加载
可接受的失效模式	A 型	纤维的拉伸破坏		
	B 型	最外层的拉伸破坏		
	C 型	压缩破坏		
不可接受的失效模式	D 型	拉伸破坏(包括层间剪切)		
	E 型	压缩破坏(包括层间剪切)		
	F 型	层间剪切破坏		